

## 1 μm 以下の超微細結晶粒からなる高強度厚鋼板の試作に成功

平成13年9月19日

独立行政法人物質・材料研究機構

### 1. 概要

独立行政法人物質・材料研究機構の長井寿 主任研究員をリーダーとする研究グループは、鉄鋼の結晶粒径を超微細化することにより合金元素を加えずに強度を高める省資源型鉄鋼材料の開発に取り組んできたが、今回、汎用の圧延機を用いた温間多パス圧延<sup>\*1</sup>により、従来のおよそ 1/10 の直径 1 μm 以下の超微細結晶粒組織からなり、従来の 2 倍以上の降伏強さ<sup>\*2</sup>を持つ板厚 18mm × 幅 80mm × 長さ約 2m (重量約 20kg) の厚鋼板の試作に成功した。

これまでに微小試験片を用いた基礎実験により結晶粒超微細化の原理を解明し、さらに棒材に関しては実製造設備での製造に成功していたが、鋼板の製造においては様々な課題が残されており、今回初めて板厚 10mm 以上の鋼板で結晶粒超微細化を達成した。この成果により、実構造物に適用可能な実用サイズでの強度 2 倍の厚鋼板の実現に大きく前進した。

詳細は 9 月 22 日から九州産業大学で開催される日本鉄鋼協会講演大会にて発表する。

### 2. 経緯

物質・材料研究機構では、強度 2 倍・寿命 2 倍の超鉄鋼材料の実現を目指す「新世紀構造材料(超鉄鋼材料)プロジェクト」を進めている。そのテーマの一つ「800MPa 鋼」の開発では、従来 10 μm 程度の大きさである鉄鋼の結晶粒をおよそ 1/10 の 1 μm 以下と超微細化することにより、種々の合金元素の添加に頼らずに強度を 2 倍にする省資源かつリサイクル性に優れた高強度鉄鋼材料の実現を目標としている。

長井寿 主任研究員をリーダーとする研究グループは、まず微小試験片を用いた基礎実験を通して鉄鋼材料内部で起きる現象を解明することにより、結晶粒超微細化のための基礎原理を明らかにした。そして、その知見から結晶粒超微細化の技術として「温間多軸加工<sup>\*3</sup>」というプロセスを提案し、実製造設備を用いた棒材の圧延に適用することにより断面が 18mm 角で長さ 20m の棒鋼の製造を既に実現している。現在使用されている鉄鋼材料には、線、棒、板、レールや H 形鋼など様々な種類がある<sup>\*4</sup>。その中でも板材は自動車、造船、機械、土木・建築、エネルギーなど広範な分野で使用されており、結晶粒超微

細化の技術を板材の製造に適用できれば、さらに応用範囲が広がることが期待できる。

しかし、板材の製造に際しては下記のような特有の課題が残されており、結晶粒の超微細化が困難であった。すなわち、

- ・板の圧延に用いる平ロール圧延は1軸加工であり「多軸加工」が難しい。
- ・棒材と比べて圧延機にかかる負荷が大きく「温間加工」が難しい。
- ・板厚中心部に圧延加工による歪が入りにくく表層部に集中してしまうため、一様な組織を得ることが難しい。

これらの課題の解決のため、

新しい製造プロセス（加工方法）の開発

従来の圧延機を用いた2方向加工の検討

より効率的に組織微細化を実現するための金属組織学的な検討

などを進めてきたが、今回は汎用の平ロール圧延機を用いて上記のと の成果を活用することにより、板表面から中心部に至るまで1 $\mu$ m以下の超微細結晶粒組織を持つ板厚18mm×幅80mm×長さ約2m（重量約20kg）の厚鋼板の製造に初めて成功した。

### 3．製造方法

#### (1)概要

研究試作用の汎用中型圧延機（最大荷重400トン）を用い、500～600の温度で「温間多パス圧延」を行い、材料中に大きな歪エネルギーを蓄積することによって結晶粒の超微細化を実現した。さらに、与えた歪をより有効に結晶粒微細化に寄与させるため、2方向から加工する「2方向圧下」や加工を受ける前の鋼のミクロ組織の制御を行った。これらにより従来難しかった板厚中心部の結晶粒超微細化を実現した。

#### (2)多パス圧延

最終板厚まで板厚を減少させる圧延加工を多数の工程（パス）に分散して行う「多パス圧延」を行った。一般に温度が低くなるほど鋼は硬くなり、変形に必要な力が増して加工が困難になる。そのため、加工温度が低くなるほど材料に大きな歪を与えることは難しかった。今回の圧延では、圧延加工を複数のパスに分割することによって、個々のパスで圧延機にかかる荷重を軽減することができた。

今回の圧延では最大荷重400トンの研究試作用圧延機を用いて板幅80mmのミニ厚鋼板の試作に成功したが、この圧延条件を最大荷重数千トンの実製造用圧延機にそのまま当てはめると、板幅2m以上の実用サイズの厚鋼板の製造も十分見込める。

#### (3)温間圧延

通常の厚鋼板は、鋼塊を1000以上に加熱し、800以上の温度で圧延する熱間圧延というプロセスで製造される。今回はそれより低い500～600の温度域で圧延加工を

行う「温間圧延」を行った。従来、結晶粒超微細化を実現するためには大きな歪を一度の加工で与えることが必要とされていた。これは、熱間圧延のような高温加工プロセスでは、加工によって与えた歪エネルギーが短時間で消滅しやすく材料中に蓄積しにくいからであるが、より低い温度で「温間圧延」を行うことにより、多パス圧延で少しずつ分割して与えた歪エネルギーを材料内部に蓄積して結晶粒微細化を実現することができた。

#### (4) 2方向圧下

板圧延に用いる平ロール圧延機では、基本的には板厚方向のみの1方向に圧下する1軸加工となり、結晶粒超微細化が難しい。そこで、圧延工程の一部を行う際に鋼材の縦横方向を90度回転し、板幅方向に圧縮する加工を組み合わせることによって、異なる2方向から加工される2方向圧下圧延を実現した。

#### (5) ミクロ組織制御

これまでの研究により加工を受ける前の鋼の状態（ミクロ組織）によって結晶粒微細化の程度に差があることがわかった。そこで、圧延前の鋼のミクロ組織を結晶粒超微細化を実現しやすい状態にあらかじめ制御することによって、与えた歪がより有効に結晶粒微細化に寄与するようにした。

### 4. 鋼板の性質

#### (1) 結晶粒径

0.5 0.6  $\mu\text{m}$ 、表面から18mmの板厚中心部までほぼ一定の粒径

#### (2) 強度

現用鋼の2倍以上の降伏強さ<sup>\*2</sup> (770MPa, 79kgf/mm<sup>2</sup>)

#### (3) 衝撃破壊特性

従来鋼はおよそ-80℃以下では完全に脆性破壊<sup>\*5</sup>するのに対し、開発鋼は-196℃でも完全に脆性破壊はしなかった。

#### (4) 今後の課題

- ・低い吸収エネルギー：低温でも完全脆性破壊しにくいという優れた性質を持つ反面、室温での吸収エネルギー（壊れにくさ）は必ずしも高くない。
- ・板面に平行な割れ（セパレーション）が発生しやすい。
- ・異方性：板長さ方向と幅方向での特性差が大きい。

## 5. 今後の展開

今回板厚 18mm までのミニ厚鋼板の製造に成功したが、さらに大型化して実用サイズより厚い鋼板を製造可能とするために、新しい製造プロセス（加工方法）の開発も含めた取り組みを継続し、次期 5 年計画（H14 年度～）において最終目標の板厚 25mm を実現する予定。さらに、別途開発している新しい溶接プロセス法を適用し、高強度、高靱性、良溶接性の一般溶接構造用鋼の実用化へ向けた総合技術提案を目指す。

戦後の高度経済成長期に建設されたインフラは、老朽化のため 2010 年頃から次々に更新期を迎える。このプロジェクトにより希少元素をなるべく使わないリサイクル性に優れた「強度 2 倍、寿命 2 倍」の超鉄鋼材料が実現できれば、資源とコストの節約、ひいてはエネルギー消費の低減につながり、資源問題や環境問題解決への貢献が期待できる。

### [ 問い合わせ ]

独立行政法人 物質・材料研究機構

総務部総務課広報係 : 0298-59-2026

### ( 研究内容に関すること )

独立行政法人 物質・材料研究機構 材料研究所 材料創製研究グループ

主任研究員 鳥塚 史郎 : 0298-59-2240, [TORIZUKA.Shiro@nims.go.jp](mailto:TORIZUKA.Shiro@nims.go.jp)

大森 章夫 : 0298-59-2237, [OHMORI.Akio@nims.go.jp](mailto:OHMORI.Akio@nims.go.jp)

\* 1 「温間多パス加工」

およそ 800 以上の鋼が赤熱するような温度での加工を熱間加工，加熱せずに室温で行う加工を冷間加工と呼び，鋼の加工においてはこの両者が一般的に行われている。それに対して，この間の温度域（およそ 700 400 の範囲，温間温度域）で行う加工を温間加工と呼ぶ。

また，目的の形状まで加工によって変形する過程を数回の工程（パス）に分けて行う加工を多パス加工という。

\* 2 「降伏強さ」

材料を変形したときに材料が永久変形（塑性変形）し始める強さ。構造物の設計時に用いる指標。「降伏強さ 770MPa」とは断面積 1mm<sup>2</sup>あたり 770N(およそ 79kgf) の負荷をかけるまで永久変形しないことを示す。

\* 3 「多軸加工」 多方向から加工を行うこと。

\* 4 鉄鋼材料の国内生産量を製品毎に分類すると，おおよそ次の通り。

鋼板（厚板，広幅帯板など）	5441 万トン（54%）
特殊鋼	1619 万トン（16%）
棒鋼	1353 万トン（13%）
形鋼・軌条	1005 万トン（10%）
鋼管	658 万トン（7%）
線材	377 万トン（4%）

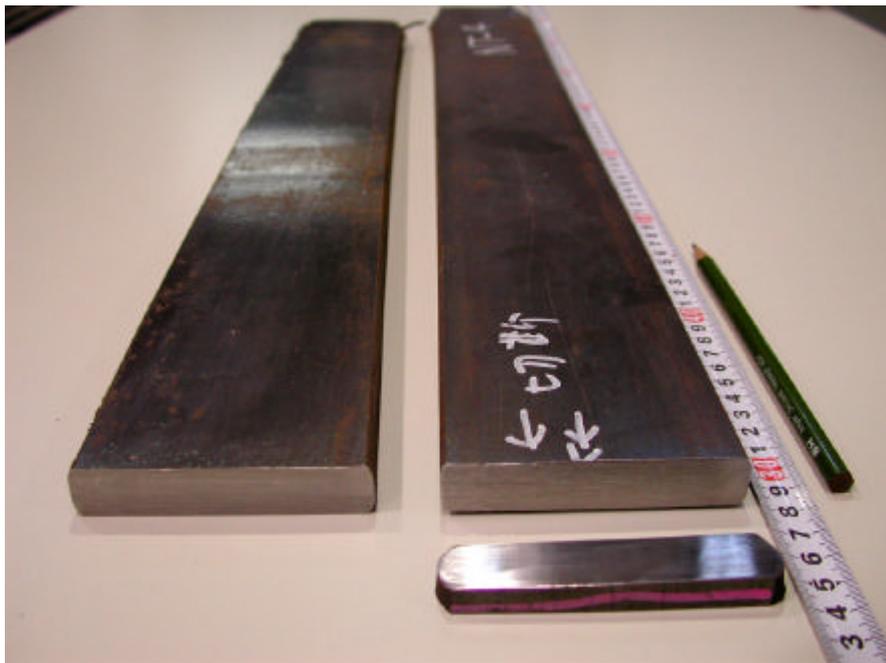
日本鉄鋼連盟(2000 年)

\* 5 「脆性破壊」

材料がほとんど変形することなく発生した亀裂が急激に伝播する形態の破壊。構造物ではこの破壊は重大事故のもとになるので避けなければならない。

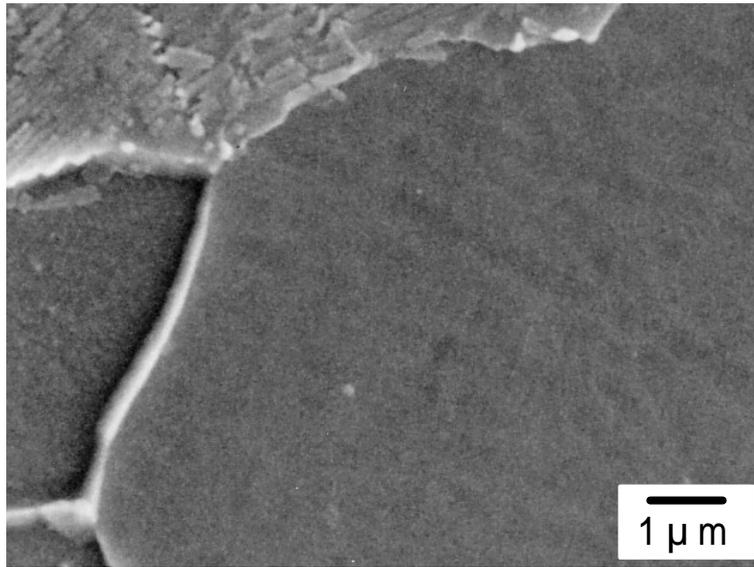


(a)

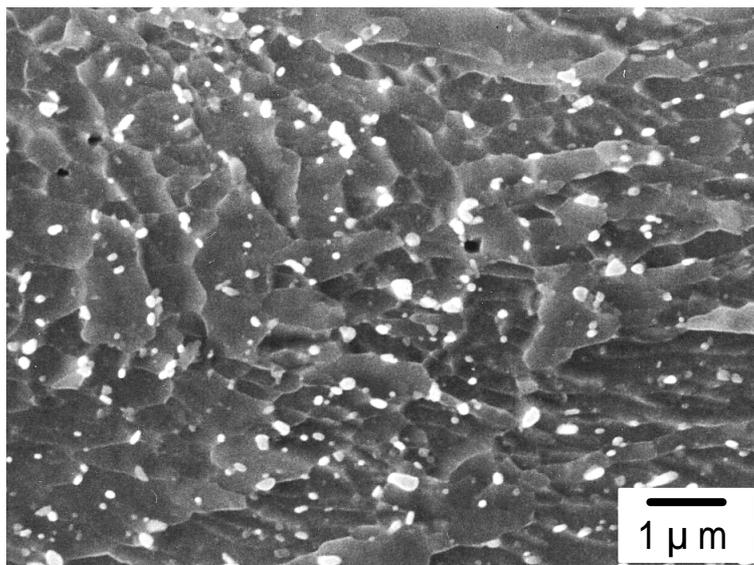


(b)

写真 1 開発鋼板の外観



(a) 従来鋼



(b) 超微細粒鋼

写真2 従来鋼と開発鋼板のミクロ組織比較

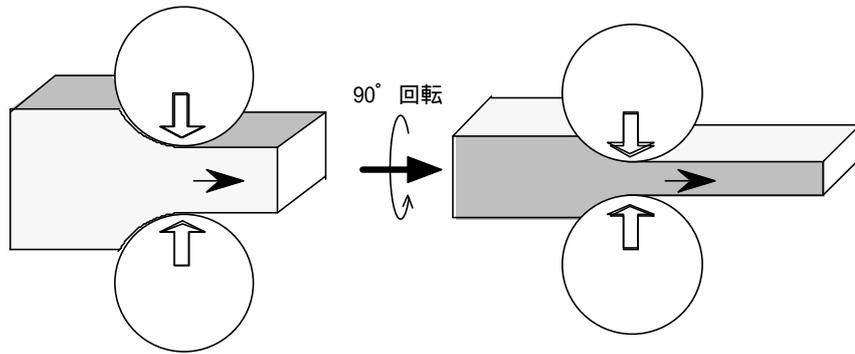


図1 2方向压下延

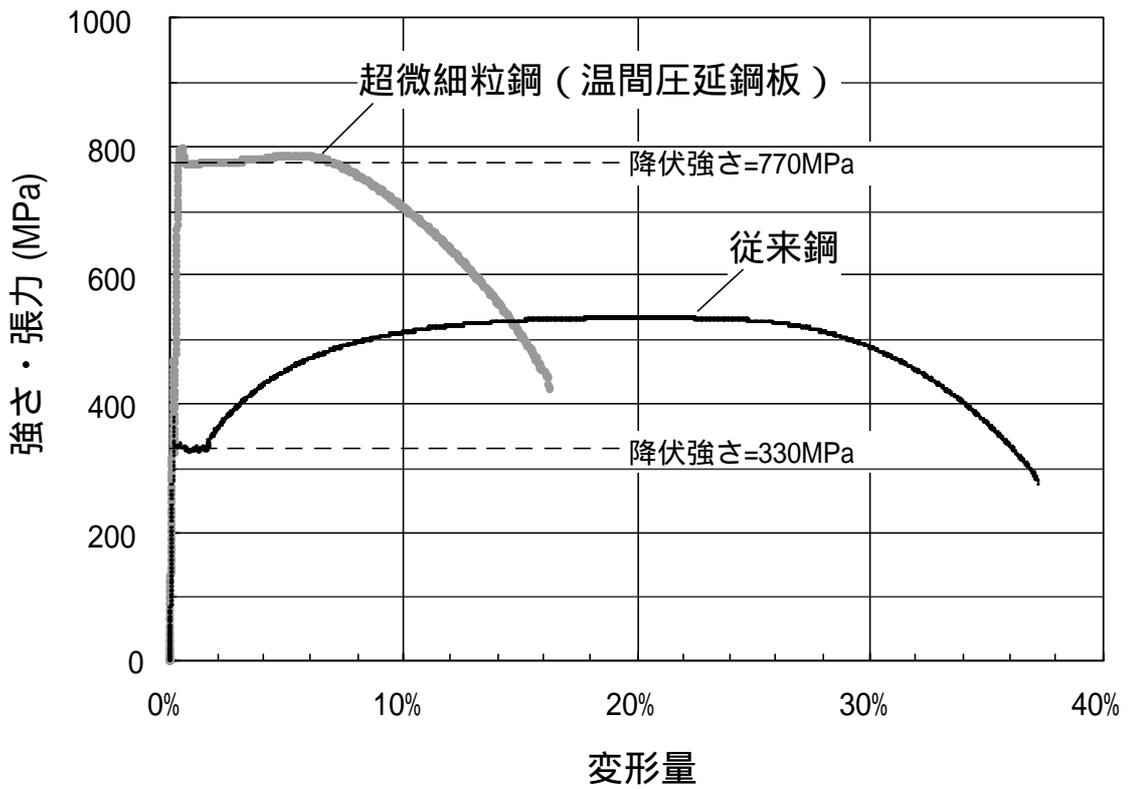


図2 従来鋼と開発鋼板の強度